

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Vícekriteriální úlohy v elektroenergetice**  
**Electric power engineering multicriterion tasks**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kunčický**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Vícekriteriální úlohy v elektroenergetice.**  
**Electric Power Engineering Multicriterion Tasks.**

Zásady pro vypracování:

1. Multikriteriální vyhodnocovací metody - teorie.
2. Typy rozhodovacích úloh.
3. Srovnání jednotlivých metod MCA.
4. Vhodnost metod pro různé typy úloh.
5. Softwarová podpora MCA.
6. Příklad aplikace metod MCA.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Fiala, P.: Modely a metody rozhodování, VŠE v Praze, Praha, 2003
- [2] Jablonský, J., Maňas, M., Fiala, P.: Vícekriteriální rozhodování, VŠE v Praze, Praha, 1994
- [3] Gurecký, J.: Optimalizace řízení sítí vně dálkově ovládanými úsečníky, Disertační práce, Ostrava, 1998
- [4] Krejčí, P.: Řešení spolehlivosti dodávky elektrické energie v oblasti s dálkově ovládanými prvky v sítích vysokého napětí, Disertační práce, Ostrava, 2001
- [5] Korviny, P.: Aplikace multikriteriální analýzy při nasazování dálkově řízených prvků v distribučních sítích vysokého napětí, Disertační práce, Ostrava, 2003

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlášení:

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny materiály, ze kterých jsem čerpal.“

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za veškeré poskytnuté materiály, osobní rady i za svůj volný čas, který mi věnoval při tvorbě této bakalářské práce.

V Ostravě dne: .....

.....  
Jakub Kunčický

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá řešením multikriteriálních úloh v energetice. První část obsahuje vysvětlení pojmu multikriteriální analýza a její celkový průběh. K tomuto vysvětlení se vztahuje uvedení základních pojmů, nejpoužívanější způsoby určení vah, jež jsou pro samotné vyhodnocovací metody nezbytné, a popis jednotlivých metod řešení multikriteriálních úloh. Druhá část uvádí teoretický příklad řešený pomocí softwaru MCA8, na němž lze uplatnit jednotlivé metody, a následně je porovnat mezi sebou.

## **Klíčová slova**

Multikriteriální analýza, varianta, kritérium, kritériální matice, váha, metoda

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with electric power engineering multicriterion tasks. The first part is focused on explanation of term multicriterion task and its full process. For this explanation it is needed to introduce basic terms, most used ways of value determination, which are necessary for multicriterion tasks process, and description of each multicriterions tasks themselves. The second part shows a theoretical example, which is solved with a software called MCA8, where we can apply all of said multicriterion tasks and then compare them with each other.

## **Key words**

Multicriterion tasks, variation, critery, criterial matrice, value, method

# Obsah

Úvod.....	- 7 -
1 Multikriteriální vyhodnocovací metody – teorie.....	- 8 -
1.1 Základní pojmy .....	- 8 -
1.2 Dělení kritérií .....	- 8 -
2 Typy rozhodovacích úloh.....	- 10 -
2.1 Základní metody stanovení vah kritérií .....	- 10 -
2.1.1 Stanovení vah kritérií bez informace o preferenci kritérií .....	- 10 -
2.1.2 Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferenci kritérií.....	- 11 -
2.1.3 Stanovení vah kritérií z kardinální informace o preferenci kritérií .....	- 12 -
2.2 Multikriteriální vyhodnocovací metody.....	- 15 -
2.2.1 Metoda váženého součtu – WSA (Weighted Sum Approach).....	- 15 -
2.2.2 Metoda ideálních bodů – IPA (Ideal Points Analysis).....	- 16 -
2.2.3 Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).....	- 16 -
2.2.4 Metoda shody a neshody – CDA (Concordance Discordance Analysis)....	- 17 -
2.2.5 Metoda AGREPREF (Aggregation Preferences).....	- 19 -
2.2.6 Metoda PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations).....	- 20 -
2.3 Shrnutí kapitoly.....	- 20 -
3 Srovnání jednotlivých metod MCA .....	- 21 -
3.1 Úvod k MCA8.....	- 21 -
3.2 Uživatelské rozhraní programu MCA8 .....	- 21 -
3.3 Praktický příklad č. 1 .....	- 22 -
3.3.1 Teoretický úvod .....	- 22 -
3.3.2 Kritéria .....	- 22 -
3.3.3 Varianty.....	- 23 -
3.3.4 Váhy.....	- 23 -
3.3.5 Metody .....	- 23 -
3.3.6 Vstupní hodnoty pro multikriteriální analýzu .....	- 23 -
3.3.7 Výsledky .....	- 24 -
3.3.8 Grafy .....	- 27 -
3.3.9 Srovnání jednotlivých metod .....	- 28 -
3.4 Praktický příklad č. 2 .....	- 29 -
3.4.1 Teoretický úvod .....	- 29 -

3.4.2	Popis řešení .....	- 30 -
3.4.3	Kritéria .....	- 30 -
3.4.4	Varianty.....	- 30 -
3.4.5	Váhy .....	- 31 -
3.4.6	Metody .....	- 31 -
3.4.7	Vstupní hodnoty pro multikriteriální analýzu .....	- 31 -
3.4.8	Výsledky .....	- 32 -
3.4.9	Grafy .....	- 36 -
3.4.10	Srovnání jednotlivých metod .....	- 38 -
4	Závěr .....	- 39 -
5	Seznam použité literatury.....	- 40 -
6	Seznam příloh .....	- 41 -

## Úvod

Multikriteriální analýza – co si pod tímto pojmem můžeme představit? Každý člověk musí během svého života učinit v různých situacích tu správnou volbu a často má na výběr z mnoha možností. Známe to z každodenního života: jaké auto si vybrat? Bude červené, zelené nebo černé? Jsou sedačky pohodlné? Jakou má spotřebu? Požadavků je mnoho, stejně tak je mnoho značek a druhů aut. Volíme dle více kritérií. Podobná rozhodnutí nás čekají při výběru dovolené, kancelářské techniky nebo bytu. Multikriteriální analýza se tedy zabývá řešením problémů, u kterých se důsledky rozhodnutí posuzují dle více kritérií.

Lidé, kteří dosud neslyšeli o multikriteriálním rozhodování, volí ve velké většině čistě intuitivně, dle svých vlastních zkušeností nebo preferencí. Tento způsob je vhodný u rozhodnutí, která nemají zásadní vliv na život člověka. Mohou to být rozhodnutí vratná či ta, u kterých nejde o větší vynaložený peněžní obnos. Zde patří například výběr spotřebního zboží v supermarketu či barvy do obývacího pokoje.

V případě, že se jedná o rozhodnutí, které může mít zásadní vliv na celý život člověka, například výběr profesního oboru či vynaložení velkého finančního obnosu (již výše zmíněný nákup auta), může nám multikriteriální analýza během našeho rozhodnutí velice pomoci.

Multikriteriální analýza našla své uplatnění v mnoha odvětvích, kterými se lidé v dnešní době zabývají: já se budu zabývat především využitím těchto metod v elektroenergetice, ale často se tato analýza využívá v ekonomii nebo v logistice.

Pojďme se tedy věnovat jednotlivým multikriteriálním vyhodnocovacím metodám.

# 1 Multikriteriální vyhodnocovací metody – teorie

## 1.1 Základní pojmy

Na úplný začátek je vhodné uvést některé základní pojmy, bez kterých se v multikriteriální analýze neobejdeme:

**Varianta** – proměnná veličina, jeden z možných výsledků našeho rozhodnutí.

**Kritérium** – měřítko pro srovnání, kritéria přiřazujeme variantám a budeme se na jejich základě rozhodovat.

**Kritériální matice** – lze ji zapsat jako  $Y = (y_{ij})$ , kde prvek  $y_{ij}$  vyjadřuje hodnocení  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria.

$$Y = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & \cdots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

**Alternativa** – veškeré varianty, které přicházely v úvahu během naší analýzy, kromě té, kterou jsme si zvolili jako hlavní výsledek.

**Model multikriteriální analýzy** – skládá se z konečné množiny  $m$  variant, která je hodnocena podle  $n$  kritérií. Slouží nám k nalezení varianty, která je podle všech kritérií hodnocena co nejlépe. Tato varianta může být optimální či kompromisní. Lze jej také využít k seřazení variant od nejlepší po nejhorší. Zároveň nám pomáhá vyloučit varianty, které jsou neefektivní.

## 1.2 Dělení kritérií

Než můžeme začít pracovat na multikriteriální analýze daného problému, musíme nejprve varianty ohodnotit kritérii. Poté takto ohodnocené varianty můžeme uspořádat do kritériální matice. Prvky této matice obsahují hodnocení všech variant podle všech kritérií.

Kritéria, která nám pomohou vybrat nejvhodnější variantu, lze rozdělit následovně:

### 1) Podle povahy kritéria:

- Kritéria maximalizační: nejlepší varianty mají nejvyšší hodnoty
- Kritéria minimalizační: nejlepší varianty mají nejnižší hodnoty

*Poznámka.: V kritériální matici je doporučeno pracovat s kritérii pouze jedné povahy, tedy buď s maximalizačními, či s minimalizačními. Často se stává, že na začátku řešení úlohy tento předpoklad není splněn. Lze tedy převést kritéria minimalizační na maximalizační.*



## 2) Podle kvantifikovatelnosti kritéria:

- Kritéria kvantitativní: hodnoty variant podle takovýchto kritérií jsou tvořeny objektivně měřitelnými údaji
- Kritéria kvalitativní: hodnoty variant podle těchto kritérií nelze objektivně měřit. Jedná se o subjektivní kritéria (hodnoty subjektivně odhadnuté uživatelem). V případě kvalitativního hodnocení využíváme různé bodovací stupnice nebo relativní hodnocení variant (jedna varianta je zvolena jako základ a uživatel odhaduje procentní vyjádření ostatních variant).

## 3) Podle preference kritérií:

Toto dělení je velmi důležité, jelikož potřebujeme určit, zda je některé kritérium preferováno před jiným. Věnujme se mu tedy podrobně. Preference kritérií může být vyjádřena různými způsoby, mohou být stanoveny:

- Aspirační úrovně kritérií: stanovíme-li kritériím aspirační úroveň, určíme, čeho má být dosaženo. Čím přísnější vyjádřený požadavek aspirační úroveň vyjadřuje, tím je kritérium důležitější. Díky těmto úrovním můžeme varianty seřadit od nejdůležitější po nejméně důležité. Zjistíme díky těmto úrovním, kolikrát je jedno kritérium důležitější než druhé? Nikoliv. K tomu slouží váhy kritérií a o těch se dozvíte dále.
- Pořadí kritérií – ordinální informace o kritériích, tato informace vyjadřuje uspořádání kritérií podle důležitosti nebo uspořádání variant podle toho, jak jsou hodnoceny kritériem.
- Váhy jednotlivých kritérií – jedná se o hodnotu z intervalu  $<0;1>$ , určuje nám důležitost daného kritéria vůči kritériím ostatním. Jejich součet musí být roven jedné.

*Poznámka: Je možno provést kompenzace kritériálních hodnot. Má-li některá z variant špatné kritériální hodnoty u jednoho z kritérií, lze tyto hodnoty vyrovnat hodnotami z ostatních kritérií, které jsou na tom hodnotou lépe. Tento krok můžeme provést pomocí substituce mezi jednotlivými kritériálními hodnotami.*

Závěrem této kapitoly tedy můžeme říci, že model jako takový se skládá ze čtyř základních prvků:

- Varianty rozhodnutí
- Kritéria
- Kritériální matice
- Váhy kritérií

## 2 Typy rozhodovacích úloh

V multikriteriální analýze existuje několik základních rozhodovacích úloh. Všechny tyto úlohy mají jedno společné: pracují s váhami jednotlivých kritérií. Výchozí krok je tedy stanovení těchto vah. Při samotném stanovení vah je pro nás důležité znát vstupní informace o kritériích, především preference kritérií samotných.

### 2.1 Základní metody stanovení vah kritérií

- Stanovení vah kritérií bez informace o preferenci kritérií
- Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferenci kritérií
- Stanovení vah kritérií z kardinální informace o preferenci kritérií

*Poznámka.: Tyto metody lze také kombinovat. Důležité však je podřídít tyto kombinace dosažení hlavních cílů celé analýzy.*

#### 2.1.1 Stanovení vah kritérií bez informace o preferenci kritérií

Neznat žádnou informaci o preferencích není pro nás žádný problém. Stává se to v případě, kdy samotný řešitel neumí či odmítá udělat rozhodnutí, jak je které kritérium důležité. Nelze tedy správně posoudit jednotlivé varianty. Váhu jednotlivým kritériím v tomto případě lze přiřadit dvěma způsoby.

**Prvním způsobem** je přiřazení stejné váhy všem kritériím. Konkrétní hodnotu této váhy můžeme spočítat pomocí níže uvedeného vztahu:

$$v_j = \frac{1}{n}, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

kde  $n$  je počet kritérií.

**Druhým způsobem** je stanovení váhového vektoru pomocí tzv. entropické metody. Entropická metoda spočívá ve stanovení pravděpodobností  $p_{ij}$  a jejich přirozených logaritmů. Z toho plyne základní podmínka – tuto metodu lze uplatnit pro takovou kritériální matici, která se skládá pouze z kladných hodnot. Tato podmínka má svůj význam i v případě, kdy se rozhodneme převést záporné hodnoty na kladné přičtením vhodné konstanty k celé kritériální matici či pouze k určitému sloupci. Mohlo by to zapříčinit změnu následně vypočtené váhy, změnu poměru mezi váhami samotnými a v některých případech by mohlo dojít i ke změně pořadí důležitosti kritérií. Entropickou metodu díky tomuto omezení nelze uplatnit v mnoha odvětvích, především v makroekonomii, kde různá kritéria často nabývají záporných hodnot (růst či pokles HDP, inflace, atd.).

### 2.1.2 Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferenci kritérií

Předpokladem této metody je schopnost řešitele přesně vyjádřit důležitost daných kritérií. Konkrétně by měl řešitel přiřadit všem kritériím jejich pořadová čísla a při porovnání veškerých dvojic kritérií určit, které kritérium z aktuální dvojice je důležitější než druhé. V obou případech lze označit dva kritéria (popř. více kritérií) jako rovnocenné. Nejčastěji používané metody převádějící ordinální informaci do podoby váhového vektoru jsou:

- 1) **Metoda pořadí** – tato metoda je upřednostňována v případě, kdy důležitost kritérií hodnotí více než jeden řešitel. Nejčastěji jsou řešitelé experti v daném oboru. Nezávisle na sobě seřadí kritéria od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Nejdůležitější kritérium bude ohodnoceno  $n$  body ( $n$  je počet kritérií), druhé v pořadí  $n-1$  bodů. Tento postup opakujeme u všech kritérií. Nejméně důležité kritérium dostane pouze 1 bod. V případě, že některá kritéria mají stejnou důležitost, udělíme jim body podle průměrného pořadí. Máme-li takto ohodnocená kritéria, určíme váhu každého z nich sečtením bodů, které získalo od všech expertů a následně je vydělíme celkovým počtem bodů rozdělených všem kritériím. Pro kontrolu nám musí vyjít součet všech vah kritérií roven jedné. Je-li obecně  $j$ -té kritérium ohodnoceno  $b_j$  body (jedinou hodnotou nebo součtem hodnot při hodnocení více experty), vypočítá se jeho váha na základě vztahu:

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Tímto vzorcem normalizujeme informace o preferenci kritérií. Obecně se tento postup nazývá normalizace vah kritérií.

- 2) **Metoda Fullerova trojúhelníku** – jedná se o metodu párového porovnávání. Metoda najde své využití v okamžiku, kdy máme informaci o vztahu mezi dvojicí hodnocených kritérií. K výpočtu váhy kritéria potřebujeme znát dvě základní neznámé: počet srovnání  $N$  a počet zakroužkování  $n_j$ .

Počet srovnání lze spočítat dle tohoto vzorce:

$$N = \frac{n \cdot (n - 1)}{2},$$

kde  $n$  je počet porovnávaných kritérií.

Než však začneme počítat, musíme splnit podmínku, že v případě, kdy ohodnotíme první kritérium ( $j$ ) jako důležitější než druhé kritérium ( $l$ ), musí zároveň platit, že kritérium  $l$  je méně důležité než kritérium  $j$ .

Počet zakroužkování vychází přímo z tzv. Fullerova trojúhelníku. Porovnáváme každé kritérium s každým tak, že zakroužkujeme u každé dvojice ten prvek, který je důležitější. Na konci kroužkování označíme jejich počet  $n_j$ .

Samotný Fullerův trojúhelník vypadá takto:

1	1	1	...	1
2	3	4	...	k
	2	2	...	
	3	4	...	
			...	
			k-2	k-2
			k-1	k
				k-1
				k

Nyní máme vypočítané obě neznámé, můžeme tedy spočítat váhy jednotlivých kritérií podle tohoto vzorce:

$$v_j = \frac{n_j}{N}, j=1,2, \dots, n.$$

*Poznámka.: Tento postup má jednu nevýhodu. V případě, že má uživatel plně konzistentní informaci, bude hodnota  $n_j$  pro nejméně důležité kritérium rovna nule, tedy i váha  $v_j$  bude nulová. Můžeme tedy toto kritérium vyloučit a provést celý postup znovu. Vše opakujeme až do okamžiku, kdy nám zůstane pouze jediné a nejdůležitější kritérium. Můžeme se však této situaci vyhnout: jakmile ukončíme první porovnávání a vyčíslíme hodnoty  $n_j$ , zvětšíme každou hodnotu  $n_j$  o jedna. Tomuto postupu říkáme normalizace vektoru vah. Normalizace může způsobit zkreslení poměru mezi všemi dvojicemi vah, což může být problém. Většina metod totiž využívá právě tyto poměry místo absolutních hodnot vektoru vah.*

### 2.1.3 Stanovení vah kritérií z kardinální informace o preferenci kritérií

Stanovení vah z kardinální informace je závislé na schopnosti uživatele určit nejen pořadí důležitosti jednotlivých kritérií, ale také tzv. „poměr důležitosti“ mezi jednotlivými dvojicemi kritérií. K tomu využíváme dvou základních metod. První metodou je metoda bodovací. Kritériím přiřadíme body, které lze následně převést na váhový vektor. Druhá metoda, Saatyho metoda kvantitativního párového srovnání, pomůže uživateli odvodit váhový vektor přímo z informace o poměru vah stanoveným přímo samotným uživatelem. Pojdme se podívat na tyto dvě metody podrobněji.

- 1) **Bodovací metoda** - na začátku uživatel určí bodovací stupnici a dle této stupnice vyjádří každé variantě hodnotu důležitosti. Podobně jako u metody pořadí, která se využívá u stanovení vah z ordinální informace, je vhodné ji využít v případě, že kritéria hodnotí více expertů zároveň.

***Poznámka:** Takovéto hodnocení více experty má jednu charakteristickou vlastnost: pro jednoho experta může být některé z kritérií to nejdůležitější, zatímco pro druhého je to samé kritérium naprosto nedůležité. Jelikož bude ohodnoceno deseti a nula body, ocitne se přesně uprostřed hodnocení.*

Samotný výpočet vah můžeme provést stejně jako u metody pořadí. Výsledné hodnoty se normalizují podle vztahu:

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

V tomto vztahu  $b_j$  představuje součet všech bodů od každého z expertů, které konkrétnímu  $j$ -tému kritériu experti přidělili.

U této metody je potřeba zdůraznit také skutečnosti týkající se samotného bodování. Máme tři hlavní možnosti postupu, než vůbec ukončíme celý bodovací proces:

- První postup předpokládá, že již na začátku můžeme přibližně určit, které kritérium bude nejdůležitější (to dostane nejvyšší počet bodů) a které je nejméně důležité (to naopak získá nejnižší počet bodů). Následně jednotlivá kritéria bodujeme dle těchto dvou výchozích hodnot podle toho, ke kterému kritériu se stupněm důležitosti blíží nejvíce. Zároveň přihlížíme i k hodnocení již umístěných kritérií.
- Druhý spočívá v tom, že provedeme bodování dvakrát: poprvé body odhadneme, podruhé udělené body znovu posoudíme a odstraníme vzniklé nesrovnalosti našeho rozhodnutí.
- Poslední, třetí postup, začíná stanovením řádu bodů pro hodnocení důležitosti prvního kritéria v pořadí. Následující kritérium bude ohodnoceno bodově dle kritéria prvního. Takto postupujeme se všemi kritérii. Na konci zjistíme rozsah stupnice.

Také je důležité uvést další poznatky týkající se samotné stupnice. Lze využívat i desetinná čísla a je dovoleno přiřadit více kritériím stejný počet hodnotících bodů. Samotnou stupnici lze vyjádřit graficky – konkrétně pomocí úsečky. Každý konec této úsečky představuje preferenci kritérií (nejvyšší a nejnižší).

## 2) **Saatyho metoda kvantitativního párového srovnání**

Metoda vhodná k provedení vyhodnocení jediným uživatelem, nejlépe expertem. Je založena právě na expertním vyhodnocení daných kritérií. Slouží k hodnocení jak kritérií, tak i celých variant. Opět hodnotíme mezi sebou všechna kritéria, vždy po jednotlivých dvojicích. K hodnocení využíváme stupnici o devíti bodech. Hlavními body jsou lichá čísla, konkrétně 1, 3, 5, 7 a 9. Každé z těchto čísel představuje vztah mezi kritérii  $i$  a  $j$ :

- 1 – kritéria i a j jsou rovnocenná
- 3 – kritérium i je slabě preferované před kritériem j
- 5 – kritérium i je silně preferované před kritériem j
- 7 – kritérium i je velmi silně preferované před kritériem j
- 9 – kritérium i je absolutně preferované před kritériem j

K vyhodnocení využíváme Saatyho matici  $S = (s_{ij})$ , která vypadá v obecném tvaru takto:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{12} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Způsob vyhodnocení je následující: Expert porovná mezi sebou první a druhé kritérium ( $s_{12}$ ) a zapíše hodnocení  $i$ -tého kritéria vůči  $j$ -tému kritériu dle vztahu mezi kritérii konkrétními čísly, která jsou uvedena výše. Může se stát, že se důležitost kritérií obrátí, například  $j$ -té kritérium bude silně preferované před kritériem  $i$ . V tomto případě zapíšeme hodnocení jako  $s_{ij} = 1/s_{ji}$ . Takto pokračujeme v každém řádku.

Jednička představuje rovnost jednotlivých kritérií (jsou sami sobě rovnocenné, např.  $s_{11}$ ,  $s_{22}$  atd.) a zapisují se v matici vždy do diagonály. Již hodnocená kritéria, vyskytující se na dalším řádku vlevo od jedničky, v našem případě  $s_{12}$ , se zapíší do tvaru  $1/s_{12}$ . Tento poznatek vychází z obecných vlastností této matice (čtvercová, reciproční).

Máme-li matici zapsanou, můžeme přejít k vyhodnocení. Nejčastěji se využívá geometrický průměr řádků Saatyho matice, někdy také označovaný termínem „metoda logaritmických nejmenších čtverců“. Nejprve vypočítáme hodnoty  $b_i$  právě pomocí tohoto normalizovaného geometrického průměru. To lze zapsat do vzorce následovně:

$$b_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n s_{ij}}$$

Konkrétní váhy poté vypočteme normalizací hodnot  $b_i$  následovně:

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}$$

## 2.2 Multikriteriální vyhodnocovací metody

V předchozí kapitole jsme si uvedli základní metody, které slouží k určování vah kritérií, popř. vah jednotlivých variant. Máme-li tento základní předpoklad veškerých multikriteriálních metod splněný, můžeme přejít ke konkrétním vyhodnocovacím metodám. V dalších podkapitolách se budu zabývat šesti základními metodami, které se využívají v softwarovém programu MCA8, určenému k rychlé a efektivní multikriteriální analýze.

- Metoda váženého součtu – WSA (Weighted Sum Approach)
- Metoda ideální bodů – IPA (Ideal Points Analysis)
- Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
- Metoda shody a neshody – CDA (Concordance Discordance Analysis)
- Metoda AGREPREF (Aggregation Preferences)
- Metoda PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations)

### 2.2.1 Metoda váženého součtu – WSA (Weighted Sum Approach)

Metoda založena na tzv. „maximalizaci užitku“. Pro užitek platí, že využíváme pouze jeho lineární funkci. První vytvoříme normalizovanou kritériální matici  $R=(r_{ij})$ . Ta představuje matici hodnot užitku z  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria. Prvky  $r_{ij}$  můžeme do této matice získat ze základní kritériální matice,  $Y=(y_{ij})$ , vytvořené při určování vah kritérií. Pro přepočítání máme k dispozici dva základní transformační vzorce v závislosti na povaze kritéria ve sloupci  $j$ .

#### a) Kritérium maximalizační

$$r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}$$

$D_j$  – minimální hodnota kritéria ve sloupci  $j$

$H_j$  – maximální hodnota kritéria ve sloupci  $j$

#### b) Kritérium minimalizační

$$r_{ij} = \frac{H_j - Y_{ij}}{H_j - D_j}$$

*Poznámka: Obecný prvek  $r_{ij}$  musí splňovat podmínku  $r_{ij} \in \langle 0,1 \rangle$*

Nyní můžeme vypočítat samotný užitek varianty  $a_i$  (použitím aditivního tvaru vícekritériální funkce užitku):

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij}$$

Nejlepší variantou je zvolena ta, která dosáhne nejvyšší hodnoty užitku. Varianty lze také díky těmto výsledným užitekům seřadit od nejlepší po nejhorší.

### 2.2.2 Metoda ideálních bodů – IPA (Ideal Points Analysis)

Metoda IPA, podobně jako výše uvedená metoda WSA, opět vychází z maximalizace užitku. Provedeme normalizaci kritériální matice (postup jsme si uvedli u metody WSA, viz. 3.1.1). Opět využijeme aditivního tvaru vícekritériální funkce užitku. Tento užitek varianty  $a_i$  je roven:

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot (1 - r_{ij})$$

Máme-li vypočítány hodnoty užitku, můžeme přistoupit k samotnému uspořádání variant. V tomto případě je na rozdíl od metody WSA nejlepší ta varianta, která má nejvyšší hodnotu užitku.

Více informací k této metodě není třeba uvádět, přejdeme tedy k metodě další.

### 2.2.3 Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Jedná se o metodu velice rozšířenou a v praxi velmi oblíbenou. V obecné literatuře se metoda TOPSIS vyskytuje na předních pozicích ve výčtu metod jako takových a bývá jí věnováno nejvíce prostoru. Jinak tomu nebude ani v tomto případě. Uvádím zde kompletní rozpis, jak se má v případě této metody postupovat.

Princip této metody spočívá v minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty. Jak můžeme definovat ideální variantu? Ideální varianta je ve většině případů čistě hypotetická a je to ta varianta, která dosahuje u všech hodnot kritérií těch nejlepších možných výsledků.

Využíváme-li této metody, je pro nás nejlepší ta varianta, která je k ideální variantě nejbližší. Zároveň však musí být co nejdále od varianty bazální. Bazální variantu si můžeme představit jako variantu ze všech nejhorší.

Postup vypadá následovně:

- a) Vytvoříme normalizovanou kritériální matici  $R=(r_{ij})$ . Jednotlivé normalizované hodnoty do této matice vypočítáme dle tohoto vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (y_{ij})^2}} \quad ; \quad i=1,2,\dots,p \quad ; \quad j=1,2,\dots,k$$

- b) Vypočítáme váženou kritériální matici  $W$ . Tuto matici můžeme získat tak, že každý  $j$ -tý sloupec normalizované kritériální matice  $R$  vynásobíme odpovídající vahou  $v_j$ , jak je uvedeno následovně:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{p1} & w_{p2} & \dots & w_{pk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 r_{11} & v_2 r_{12} & \dots & v_k r_{1k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_1 r_{p1} & v_2 r_{p2} & \dots & v_k r_{pk} \end{bmatrix}$$



- c) Určíme ideální  $(H_1, H_2, \dots, H_k)$  a bazální  $(D_1, D_2, \dots, D_k)$  variantu, vzhledem k hodnotám ve vážené kritériální matici. Obecně platí tyto dvě podmínky:

$$H_j = \max_i(w_{ij})$$

$$D_j = \min_i(w_{ij})$$

- d) Vypočítáme vzdálenosti jednotlivých variant od varianty ideální i od varianty bazální. K výpočtu vzdálenosti od varianty ideální využijeme tento vzorec:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2} ; i = 1, 2, \dots, p$$

K výpočtu vzdálenosti od varianty bazální využijeme tento vzorec:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2} ; i = 1, 2, \dots, p$$

*Poznámka.: V obou případech je použita Euklidova míra vzdálenosti.*

- e) Předposledním krokem této metody je výpočet relativního ukazatele vzdáleností variant, uplatněného na variantu bazální:

$$c_i = \frac{d_i^+}{d_i^+ - d_i^-} ; i = 1, 2, \dots, p$$

Musíme však vzít v úvahu tři podmínky, které platí pro jednotlivé hodnoty  $c_i$ :

$$0 \leq c_i \leq 1$$

$$c_i = 0 \Leftrightarrow a_i \approx (D_1, D_2, \dots, D_k)$$

$$c_i = 1 \Leftrightarrow a_i \approx (H_1, H_2, \dots, H_k)$$

- f) Seřadíme varianty podle klesajících hodnot ukazatele  $c_i$ , čímž získáme úplné uspořádání všech variant.

#### **2.2.4 Metoda shody a neshody – CDA (Concordance Discordance Analysis)**

Základním kamenem této metody je porovnávání všech variant ve vzájemných dvojicích. Mezi jednotlivými dvojicemi variant je tzv. vzájemný vyřazovací poměr. CDA metoda měří stupeň, kterým vybrané varianty či určené váhy kritérií tento poměr potvrzují nebo vyvracejí. Využívá postupu shody a neshody, přičemž jednotlivé rozdíly mezi váhami kritérií a hodnoceními variant jsou analyzovány odděleně.

Opět vycházíme z normalizované kritériální matice. Máme za úkol určit čtyři základní indexy:

- a) **Index shody varianty  $a_1$  s variantou  $a_2$**  – určíme jej jako podíl, kde v čitateli bude součet vah kritérií, jejichž normalizované hodnocení  $a_1$  je větší nebo rovno normalizovanému hodnocení  $a_2$  a ve jmenovateli bude součet vah všech kritérií.

$$C_{a_1 a_2} = \frac{\sum v_j (r_{a_1 j} \geq r_{a_2 j})}{\sum v_j}$$

- b) **Index neshody varianty  $a_1$  s variantou  $a_2$**  – určíme jej jako podíl, kde v čitateli bude rozdíl vah kritérií, jejichž normalizované hodnocení  $a_1$  je menší než normalizované hodnocení  $a_2$  a ve jmenovateli bude maximální rozdíl vážených normalizovaných hodnocení všech variant, což konkrétně platí pro kritérium, které vykazuje maximální hodnotu zde uvedeného čitatele.

$$D_{a_1 a_2} = \frac{D1}{D2} = \frac{\max_j (v_j \cdot r_{a_2 j} - v_j \cdot r_{a_1 j}) (r_{a_1 j} < r_{a_2 j})}{\max_i v_m \cdot r_{im} - \min_i v_m \cdot r_{im}},$$

kde  $m = j$  při  $D1 = \max$

- c) **Celkový index shody varianty  $a_1$**  – sečteme všechny indexy shody varianty  $a_1$  vzhledem ke všem ostatním:

$$C_{a_1} = \sum_{j=1}^k C_{a_1 j}$$

- d) **Celkový index neshody varianty  $a_1$**  – sečteme všechny indexy neshody varianty  $a_1$  vzhledem ke všem ostatním:

$$D_{a_1} = \sum_{j=1}^k D_{a_1 j}$$

Nyní seřadíme jednotlivé varianty podle maximálního a podle minimálního indexu shody. Konečné hodnocení vybrané varianty lze získat ze vztahu pro index  $CDA_i$ . Díky tomuto indexu také můžeme veškeré varianty seřadit dle jeho rostoucí hodnoty:

$$CDA_i = I - C_i + D_i,$$

kde  $I$  je počet variant.

### 2.2.5 Metoda AGREPREF (Aggregation Preferences)

Popis této metody může být velice vyčerpávající, omezím se tedy pouze na základní informace. Záměrně zde neuvádím celý postup řešení ani vzorce v metodě použité. Podrobněji se této metodě budu věnovat dále u konkrétní praktické úlohy.

Metoda AGREPREF se využívá u těch úloh, kde máme zadanou konečnou množinu variant a soustavu kritérií. Z toho vyplývá, že známe také relativní důležitosti jednotlivých kritérií díky vah. Začneme tím, že definujeme stupeň preference varianty  $a_i$  před variantou  $a_j$ . Pro tyto dvojice lze seskupit kritéria do množin. Tyto množiny si můžeme označit následovně:

- 1) Množina indexů  $I_{ij}$  pro ta kritéria, která preferují variantu  $a_i$  před variantou  $a_j$
- 2) Množina indexů  $I_{ji}$  pro ta kritéria, která preferují variantu  $a_j$  před variantou  $a_i$
- 3) Množina indexů  $I_{ij}$  pro kritéria, kde mají obě varianty  $a_i$  i  $a_j$  stejné hodnoty (tedy se jedná o varianty tzv. indiferentní)

Následně pro jednotlivé množiny vypočítáme stupně preferencí  $s_{ij}$ ,  $s_{ji}$  a  $s_{ij}$ . Pro tento výpočet musí platit podmínka:

$$s_{ij} + s_{ji} + s_{ij} = 1$$

Nyní lze získat výslednou preferenční relaci  $R$ , díky které je možno varianty uspořádat. Preferenční relace jsou tři:  $P$ ,  $I$  a  $N$ .  $P$  je relace preference,  $I$  relace indifferencie a  $N$  relace nesrovnatelnosti. Využijeme pravidlo většiny. Nejlépe si zápis těchto relací ukážeme na praktickém příkladě:

Je-li  $s_{ij} > s_{ji}$ , víme, že varianta  $a_i$  je preferována před variantou  $a_j$  a můžeme tedy napsat:

$a_i P a_j$

Dále je třeba říci, že tato metoda je založena primárně na zobecněném pravidle většiny. Využíváme dva prahy citlivosti: práh preference  $\alpha$  a práh indifferencie  $\beta$ .

$\alpha$  – udává, jak velký by měl být součet vah kritérií, z jejichž hlediska jsou obě posuzované varianty  $a_i$  a  $a_j$  indiferentní. Tedy jaká musí být hodnota  $s_{ij}$ , abychom mohli danou dvojici prohlásit za indiferentní.

$\beta$  – udává, jak velký musí být rozdíl mezi součtem vah kritérií, z jejichž hlediska je varianta  $a_i$  preferována před variantou  $a_j$  a součtem vah kritérií, které preferují variantu  $a_j$  před variantou  $a_i$ . Opět to lze pochopit následovně: jaká má být minimální hodnota  $s_{ij} > s_{ji}$ , abychom mohli prohlásit, že je varianta  $s_{ij}$  skutečně preferována před variantou  $s_{ji}$ . Platí to i v opačném případě, kdy  $s_{ji} > s_{ij}$ .

Hodnoty obou prahů leží v intervalu:  $\alpha, \beta \in \langle 0,1 \rangle$

### 2.2.6 Metoda PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations)

Je to poslední metoda, se kterou pracuje program MCA8. Opět se omezím na obecný výklad této metody. Více o této metodě se dozvíme až u praktického příkladu.

Budeme postupně porovnávat varianty po párech z hlediska všech daných kritérií. Výsledkem tohoto porovnávání je intenzita preference mezi dvojicemi variant. Je důležité si správně označit jednotlivé prvky této analýzy. Intenzita preference se skládá z koeficientů označených  $P_i$ , první z dvojice variant bude označena jako  $a_r$  a druhá z dvojice jako varianta  $a_s$ . Kritérium, dle kterého pár porovnáваме, lze označit jako  $f_i$ . Nyní lze vypočítat diferenci kritériálních hodnot jednotlivých variant následovně:

$$d_i = f_i(a_r) - f_i(a_s)$$

*Pozn.: Kritéria musí být maximalizační!*

Platí, že čím vyšší tato difference bude, tím je samotná intenzita preference vyšší.

Dále zavedeme funkci  $Q(d_i)$ , která nám určí, zda je  $d_i$  kladné nebo záporné. Kladné  $d_i$  znamená, že varianta  $a_r$  je preferována před variantou  $a_s$ . Záporné  $d_i$  nám říká opak, tedy že varianta  $a_s$  je preferována před variantou  $a_r$ . Nyní si zvolíme pro každé hodnotící kritérium jeden ze šesti základních typů preferenčních funkcí. Tyto preferenční funkce nám transformují hodnoty diferencí  $d_i$  na hodnoty preferenčních indexů dle parametrů  $p$  (práh preference),  $q$  (práh indiference) a  $\sigma$  (směrodatná odchylka normálního rozdělení). Více o těchto parametrech se dozvíme u samotného praktického řešení.

Následuje výpočet globálních preferenčních indexů. Poté pro každou variantu vypočteme pozitivní a negativní tok. Z těchto toků lze vypočítat tok čistý, který nám pomůže varianty řádně uspořádat. Nejlepší varianta je ta, která bude mít nejvyšší hodnotu čistého toku.

## 2.3 Shrnutí kapitoly

V této kapitole jsme si ukázali, jak lze stanovit váhy pro jednotlivá kritéria. Toto stanovení je závislé na informaci o preferenci kritérií. Informace může být ordinální, kardinální nebo může také dojít k případu, kdy informaci o preferenci neznáme. Pro každou možnost jsme si ukázali dva základní způsoby určení vah.

Máme-li takto určené váhy, můžeme přistoupit k samotné multikritériální analýze. Hlavní pomůckou nám bude program MCA8, který pracuje se šesti různými vyhodnocovacími metodami. Všechny tyto metody jsme si obecně popsali.

Nyní můžeme jednotlivé metody aplikovat na praktické příklady. Samotná teorie o metodách jako takových se může na první pohled jevit složitě. Tyto příklady nám však pomůžou lépe tyto metody pochopit a následně je porovnat mezi sebou.

## 3 Srovnání jednotlivých metod MCA

### 3.1 Úvod k MCA8

V předchozích kapitolách jsme probrali vše, co potřebujeme vědět ohledně celkové multikriteriální analýzy. Víme, jak se určují váhy kritérií a jak s takto určenými váhami dále pracovat. K tomu nám poslouží jednotlivé metody, obsažené v programu nazvaném zkráceně MCA, konkrétně verze 8. Všechny metody byly taktéž probrány v předchozí kapitole. Než se začneme zabývat praktickými příklady, je nutno uvést základy uživatelského rozhraní programu MCA8, tedy jak s tímto programem zacházet, co po nás bude vyžadovat a jaké budou jeho výstupní hodnoty.

### 3.2 Uživatelské rozhraní programu MCA8

Při prvním zapnutí tohoto programu se objeví šedá pracovní plocha, na které se nám později v průběhu multikriteriální analýzy zobrazí námi požadované výsledky. Dále se zde nachází hlavní nabídka v levém horním rohu. Ve spodní části obrazovky najdeme lištu se třemi pro nás nejdůležitějšími záložkami: **vstupy**, **výsledky** a **grafy**. Tyto záložky však nyní nejsou aktivní. Dále zde najdeme možnost zadat hodnoty  $\alpha$  a  $\beta$ . Tyto parametry jsou důležité pouze pro metodu AGREPREF (kapitola 2.2.5 Metoda AGREPREF).

Začneme tím, že si v hlavní nabídce zvolíme v sekci Zadání první položku Nové. Následně je třeba zadat program k vyhodnocení všechna kritéria – to můžeme učinit v sekci Editace pod položkou Editace kritérií. Objeví se hlavní tabulka obsahující výčet všech kritérií, prozatím je však prázdná. Vybereme si tedy možnost Přidat, čímž získáme základní šablonu prvního kritéria. Můžeme měnit veškeré základní parametry uvedené níže:

- **Název kritéria**
- **Typ kritéria** – maximalizační, minimalizační
- **Váha kritéria** – celkový součet vah všech kritérií musí být roven jedné

V případě požadavku na uvedení řešení pomocí metody PROMETHEE, musíme zadat koeficienty, které jsou pro tuto metodu nezbytné:

- **Práh absolutní preference  $p$**  – dolní mez, která nám určí, kolik musí vyjít rozdíl hodnocení dvou variant, aby u nich nastala preference
- **Práh indiference  $q$**  – horní mez, která nám určí, kolik musí vyjít rozdíl hodnocení dvou variant, abychom je mohli označit za indiferentní
- **Směrodatná odchylka normálního rozdělení  $\sigma$**  – je součástí Gaussovy funkce, využívané u šestého typu preferenční funkce. Zjednodušeně můžeme říci, že nám slouží k určení, jak moc se od sebe liší dvě varianty. Malá odchylka říká, jak jsou si dvě varianty podobné, zatímco velká tvrdí pravý opak – jak jsou dvě zvolené varianty rozdílné
- **Typ preferenční funkce** – těchto typů je celkem šest, více informací o každém z nich můžete nalézt v Příloze č. 1

To je prozatím k obecnému uživatelskému rozhraní vše, nyní můžeme přejít ke konkrétním praktickým příkladům, na které aplikujeme metody multikriteriální analýzy a následně je srovnáme.

### 3.3 Praktický příklad č. 1

#### 3.3.1 Teoretický úvod

Jako první bude uveden příklad zvolený dle vlastního výběru, na kterém se ukáže zadávání základních vstupních informací a jejich následné vyhodnocení. Toto vyhodnocení je ve formě číselných výsledků a zároveň ve formě citlivostní analýzy, což jsou grafické průběhy výsledků z jednotlivých metod, ze kterých je na první pohled jasné, která varianta je pro nás při této analýze nejlepší.

Vybral jsem si téma, kterému se věnuji již několik let. Tím tématem je správný výběr elektrické kytary. Dnes je na trhu velké množství firem, které kytary vyrábějí. Každá z těchto firem vyrábí určité série kytar rozdělených podle modelů. Než začneme se samotnou multikriteriální analýzou, dovolu mi napsat krátký úvod k tomuto tématu.

Základní rozdělení kytar jako takových je na akustické a elektrické. Každá firma má své charakteristické modely, díky kterým může člověk s obecnými znalostmi v oboru okamžitě poznat, o jakou značku kytary se jedná. Vyjmenovat zde veškeré kytarové modely by zabralo několik desítek stran textu, proto zde budou uvedeny modely používané nejčastěji i s uvedeným názvem jednotlivých firem, které jsou výrobou těchto modelů pověstné:

<b>Firma:</b>	<b>Model:</b>
Fender	Statocaster, Telecaster
Gibson	Les Paul, SG
ESP	Hard & Heavy
Ibanez	Superstrat

Tabulka č. 3.3.1 – Základní přehled kytarových modelů

Každá z těchto firem vyrábí i modely jiné či modely ostatních firem, to vše v rámci co největší nabídky směrem k zákazníkovi. V tomto výčtu chybí další dvě značky, které budou umístěny mezi analyzované varianty. Jedná se o značku Cort, která je velice levnou variantou klasických modelů těchto výrobců. Primárně jsou tyto modely určeny pro začínající kytaristy. Dále je to značka Epiphone, jejichž kytary jsou označovány za levnější kopie kytar od firmy Gibson.

#### 3.3.2 Kritéria

Základním kritériem při výběru elektrické kytary je pro většinu zákazníků cena. Jelikož je cena každého modelu z dané řady jiná, bude zadána cena průměrná pro každou zvolenou variantu. Velkou roli hrají také osobní preference, každý kytarista preferuje jinou značku, jiný model. Dalším kritériem je dostupnost daného modelu. Novější modely jsou k dostání u všech prodejců elektrických kytar, avšak některé modely se již nevyrábějí, popř. je na jejich výrobu použité jiné dřevo, jiné mechanické části nebo se výroba přesunula do jiné země. Země původu má u modelů také významnou úlohu. Často dochází k jiným výrobním procesům a to se podepíše především na kvalitě. Kvalita provedení je tedy posledním zvoleným kritériem.

### 3.3.3 Varianty

Varianty byly rozděleny do obecných celků, konkrétně byly zvoleny hlavní firmy, jejich charakteristické modely a země původu, ve kterých se tyto modely vyrábějí. Seznam variant je uvedený níže při samotném řešení této problematiky.

### 3.3.4 Váhy

Váhy jednotlivých kritérií byly určeny autorem této práce. Nebyla použita žádná z výše uvedených metod určování vah. Jelikož se jedná o jednoduchý praktický příklad, určený k seznámení s programem MCA8, nebyly tyto metody zapotřebí. Vše je založeno na mém vlastním úsudku a dle zkušeností s daným kritériem výběru. Jejich součet ovšem musí být roven jedné. Hodnoty jednotlivých vah jsou, podobně jako seznam kritérií, také uvedeny níže.

### 3.3.5 Metody

Byly zvoleny pouze metody, které nepotřebují k vyhodnocení další pomocné koeficienty, jak je tomu v případě metod AGREPREF či PROMETHEE. Tyto metody budou použity až u druhého praktického příkladu. Konkrétní použité metody tedy jsou WSA, IPA, TOPSIS a CDA.

### 3.3.6 Vstupní hodnoty pro multikriteriální analýzu

V programu MCA8 jako první zadáváme jednotlivá kritéria. Každé kritérium musí mít svůj název, typ a váhu. Máme dva typy kritérií: maximalizační a minimalizační. U maximalizačních kritérií platí, že nejlepší varianty mají nejvyšší hodnoty, zatímco u minimalizačních kritérií mají ty nejlepší varianty hodnoty nejnižší. Zde je uveden seznam kritérií i s jejich konkrétními vlastnostmi:

	Název	Typ	Váha
Kritérium č. 1	Cena	Minimalizační	0,38
Kritérium č. 2	Kvalita provedení	Maximalizační	0,22
Kritérium č. 3	Země původu	Maximalizační	0,1
Kritérium č. 4	Dostupnost	Maximalizační	0,1
Kritérium č. 5	Osobní preference	Maximalizační	0,2

Tabulka č. 3.3.2 – Vlastnosti kritérií

Druhým krokem je vytvoření všech variant a následné zadání vstupních hodnot k jednotlivým kritériím. Veškeré vstupní hodnoty jsou hodnoceny na stupnici od nuly do deseti, kdy hodnota s číslem nula je v daném kritériu nejhorší, zatímco ta s číslem deset je nejlepší.

Jinak tomu je v případě ceny, kdy bylo zvoleno kritérium minimalizační a hodnota tohoto kritéria je dána průměrem ceny daného modelu. Platí tedy, že čím nižší cena, tím je tato hodnota více upřednostňována. Ceny jsou uvedeny v tisících, měna je v korunách. Dále je nutno podotknout, že jsou to ceny pouze orientační z důvodu zjednodušení celého příkladu.

Stejně tak jsou orientační i stupnicová hodnocení v závislosti na mých zkušenostech s těmito variantami. Celá jména jednotlivých variant i s hodnotami pro jednotlivá kritéria jsou uvedeny na další straně.

	Firma	Typ	Země původu
Varianta 1	Fender	Stratocaster	USA
Varianta 2	Fender	Stratocaster	Mexiko
Varianta 3	Gibson	Les Paul	USA
Varianta 4	ESP	Hard & Heavy	Japonsko
Varianta 5	Ibanez	Superstrat	Japonsko
Varianta 6	Ibanez	Superstrat	Indonésie
Varianta 7	Cort	Superstrat	Jižní Korea
Varianta 8	Epiphone	Les Paul	Jižní Korea

Tabulka č. 3.3.3 – Celé názvy jednotlivých variant

	Cena	Kvalita provedení	Země původu	Dostupnost	Osobní preference
Varianta 1	50	10	9	8	5
Varianta 2	20	6	5	9	2
Varianta 3	45	10	9	7	4
Varianta 4	22	7	8	8	0
Varianta 5	40	9	9	5	10
Varianta 6	20	5	5	9	2
Varianta 7	8	2	2	10	0
Varianta 8	8	2	2	9	2

Tabulka č. 3.3.4 – Hodnoty k jednotlivým kritériím pro každou variantu

Máme-li takto zvolené varianty a jejich kritéria, zvolíme v hlavní nabídce sekci Editace, konkrétně položku Přidat novou variantu. Dle tabulky č. 3.3.4 vytvoříme všech osm variant a poté můžeme zvolit v nabídce Řešení možnost Aktualizovat řešení. Obvykle však stačí stisknout klávesu F5. Program MCA8 sám spočítá celkovou multikritériální analýzu, dle konkrétních vzorců pro jednotlivé metody, a tím nám zpřístupní na spodní liště dvě nejdůležitější záložky: **výsledky** a **grafy**.

### 3.3.7 Výsledky

Konkrétní číselné výsledky pro jednotlivé metody zobrazuje MCA8 jako tabulky, které je možno exportovat do programu Excel. Bohužel to neplatí u grafů či variant jako takových.

První tabulka obsahuje obecné shrnutí všech kritérií a jejich vah. Zde můžeme s váhami libovolně a jednoduše pracovat, lze je měnit dle našeho uvážení. Pro náš konkrétní příklad vypadá tato tabulka následovně:

Kritérium	Váha
Cena	0,38
Kvalita provedení	0,22
Země původu	0,1
Dostupnost	0,1
Osobní preference	0,2

Tabulka č. 3.3.5 – Váhy všech kritérií



Nyní se podívejme na konkrétní výsledky jednotlivých metod. U každé metody bude uveden zkrácený popis výpočtu pro zopakování, tabulka výsledků a autorovo zhodnocení výsledků jako takových.

### 1) Metoda WSA

Založena na principu maximalizace užitku. Tento užitek si MCA8 interně vypočítá z prvků normalizované kritériální matice vynásobených konkrétními váhami jednotlivých kritérií a následným součtem těchto výsledků, čímž se získá celkové hodnocení varianty. Nejvyšší hodnota varianty bude pro nás nejlepší, což platí i opačně.

Variant	Ohodnocení
Var č. 5	0,583
Var č. 4	0,551
Var č. 2	0,544
Var č. 6	0,521
Var č. 8	0,5
Var č. 3	0,485
Var č. 1	0,48
Var č. 7	0,48

Metoda WSA určila jako vítěze variantu pátou, což je japonský Ibanez. Další v pořadí se umístila varianta čtvrtá, tedy japonský ESP, přestože měl nulovou osobní preferenci ze strany autora.

### 2) Metoda IPA

Také založena na principu maximalizace užitku. Postup výpočtu je stejný, s tím rozdílem, že při celkovém hodnocení varianty se užitky odečítají od hodnoty jedna, následně se násobí váhou a až teprve poté dochází k jejich součtu. V praxi to znamená, že nejlepší varianta je ta s nejmenším počtem bodů.

Variant	Ohodnocení
Var č. 5	0,417
Var č. 4	0,449
Var č. 2	0,456
Var č. 6	0,479
Var č. 8	0,5
Var č. 3	0,515
Var č. 1	0,52
Var č. 7	0,52

V tomto případě došlo k naprosté shodě mezi metodou IPA a WSA. Pořadí všech variant je naprosto stejné.

### 3) Metoda CDA

Jako první se vypočítají celkové indexy shody a neshody pro danou dvojici variant a následně se sečtou. Výsledné hodnocení se poté vypočítá jako rozdíl celkového počtu variant a součtu celkových indexů.

Varianta	Ohodnocení
Var č. 2	4,889
Var č. 6	4,941
Var č. 8	5,206
Var č. 4	5,664
Var č. 7	5,778
Var č. 5	6,256
Var č. 3	7,196
Var č. 1	7,785

Tentokrát bylo výsledné hodnocení zcela odlišné, jelikož tato metoda porovnává varianty po dvojicích. Můžeme tedy říci, že je tato varianta přesnější, než varianty WSA/IPA. Zde je vítězem druhá varianta, což je mexický Fender. Při zpětném ohlédnutí na hodnocení je tato kytara zlatým středem mezi drahými, kvalitními modely a mezi levnými, kvalitou tak neoplyvajícími produkty.

### 4) Metoda TOPSIS

Poslední použitá metoda u tohoto příkladu. Výpočet této metody je značně komplikovaný, přestože nám stačí malé množství vstupních hodnot. Stačí poznamenat, že je tato metoda zaměřena na hledání vzdálenosti jednotlivých variant od varianty ideální. Zároveň také bere v potaz vzdálenost od varianty vlastnostmi nejhorší.

Varianta	Ohodnocení
Var č. 8	0,559
Var č. 5	0,55
Var č. 7	0,517
Var č. 6	0,516
Var č. 2	0,508
Var č. 4	0,456
Var č. 3	0,369
Var č. 1	0,368

Nejlepší variantou dle této metody je opět úplně jiná kytara, než v předchozích případech, konkrétně se jedná o variantu osmou, Les Paul značky Epiphone. Výsledek je to z pohledu autora značně překvapivý, jelikož je jedinou předností této kytary malá cena a dostupnost, ostatní faktory v porovnání s jinými modely mají značné rezervy. Dalo by se tedy říci, že metoda vycházela především z ceny, jelikož měla nejvyšší váhu, zároveň brala v potaz i nejhorší variantu. Dále je nutno poznamenat, že se druhá varianta, japonský Ibanez, zvolena metodami WSA/IPA jako nejlepší, umístila na druhé příčce a to velice těsně: Epiphone zvítězil o celých 0,009 bodů.

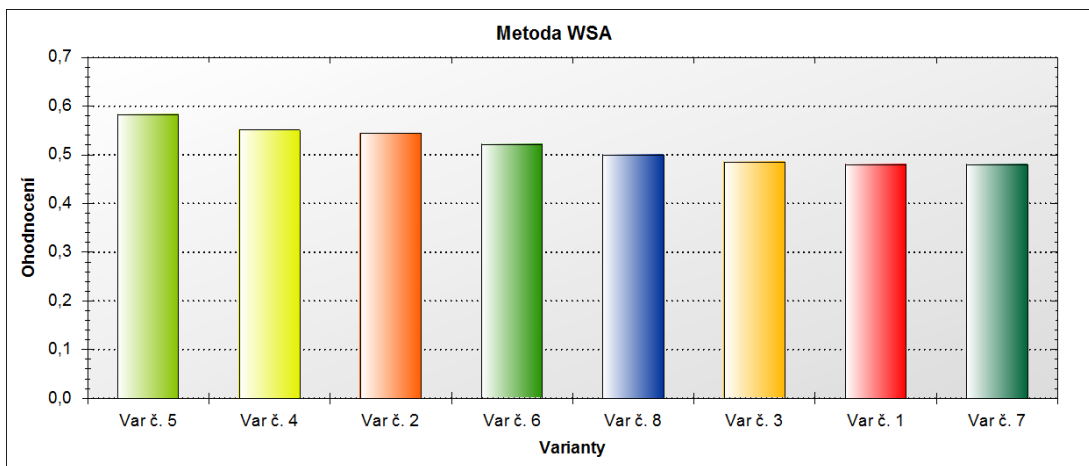
### 3.3.8 Grafy

Výběrem této záložky se dostaneme k citlivostní analýze. Grafy zde zobrazené jsou ve formě sloupcových a velice barevně přehledných grafů. Můžeme si je libovolně přiblížit či oddálit. Jediná možnost, která mi v tomto programu chyběla, byl převod těchto grafů do programu Excel, jak to bylo možné udělat s celkovými výsledky. Příjemný kompromis je ten, že si tyto grafy alespoň můžeme uložit jako obrázky přímo do počítače.

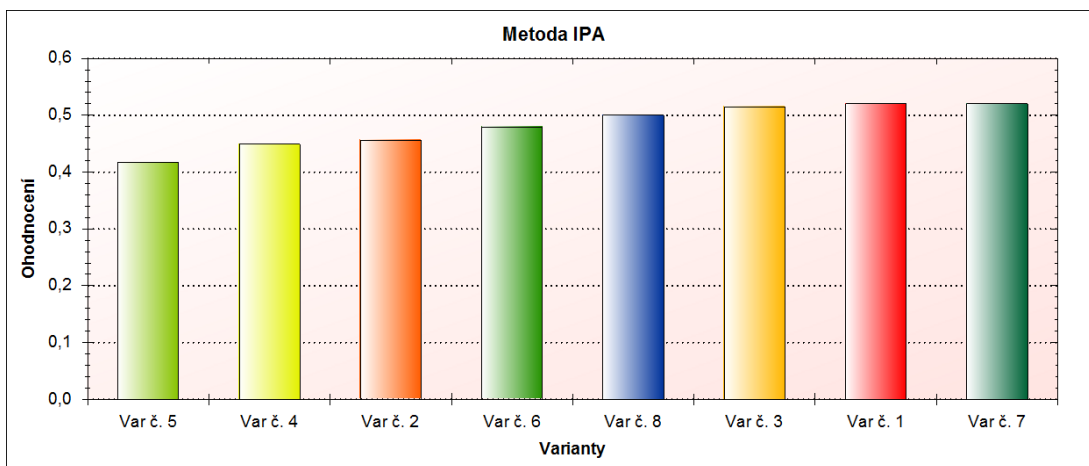
První nejdůležitější graf se nachází ve spodní části obrazovky. Jedná se o graf s váhami kritérií. Zde můžeme s váhami dále pracovat, čímž se nám budou plynule měnit výsledky u všech metod. Změny číselné hodnoty váhy dosáhneme tak, že přidržíme levou klávesu ALT a kurzorem můžeme s daným sloupcem posouvat nahoru/dolů.

Konkrétní grafy pro jednotlivé metody jsou uvedeny zde:

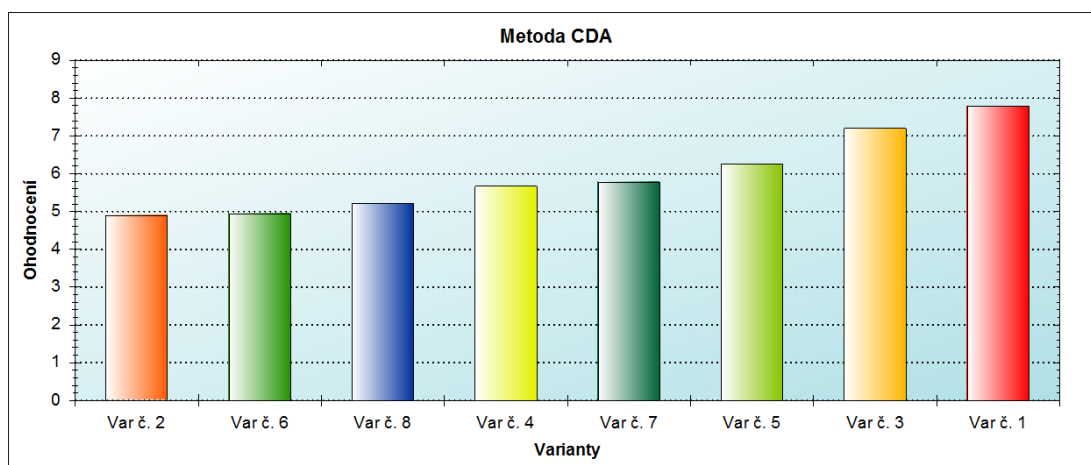
#### 1) Metoda WSA



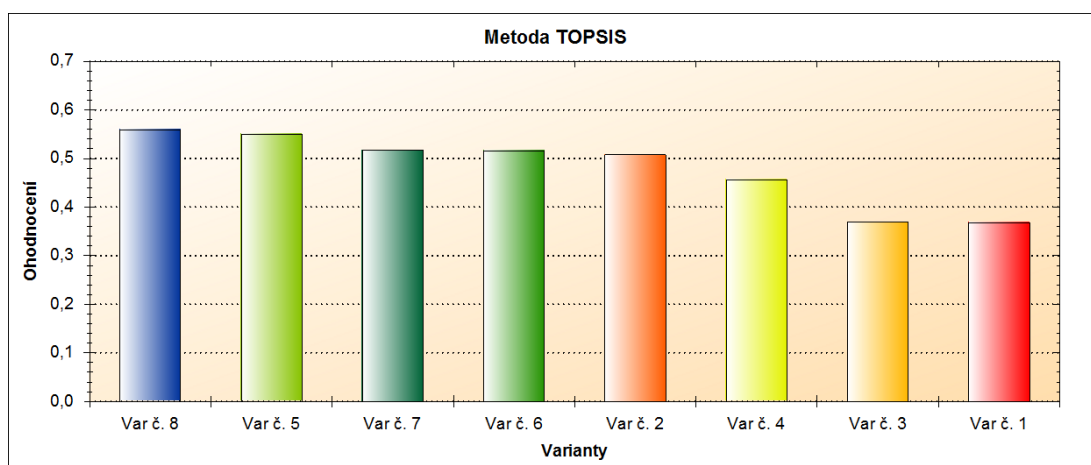
#### 2) Metoda IPA



### 3) Metoda CDA



### 4) Metoda TOPSIS



#### 3.3.9 Srovnání jednotlivých metod

První dvě uvedené metody, WSA a IPA, jsou téměř totožné, u tohoto příkladu nebyl upozorován žádný větší rozdíl než ten, že u WSA je nejlepší varianta ta s největším počtem bodů, zatímco u metody IPA je tomu naopak. Seřazení jednotlivých variant dle těchto metod bylo také naprosto totožné.

Jinak tomu je u metody CDA. Díky tomuto příkladu se CDA jeví jako nejlepší při hledání cesty zlatého středu. Vyhrála ta varianta, která je z mého pohledu nejlepší pro začátečníka: kytara Fender Stratocaster z Mexika není příliš drahá, je dostatečně kvalitní, dostupná a země původu při výběru svého prvního nástroje nehraje pro začátečníka tak velkou roli.

Metoda TOPSIS se naopak snažila najít kytaru, která by se co nejvíce blížila ideálnímu modelu. Takový model by byl velice kvalitní a za co nejnižší cenu. Právě cena v tomto výběru hrála velkou roli, jelikož získala jako kritérium zdaleka nejvyšší váhu. Naprosto těsným rozdílem vyhrála kytara od firmy Epiphone.

Závěrem tedy můžeme říci, že nejlepší kytara by byla z hlediska této analýzy kytara od japonské firmy Ibanez. Získala nejlepší hodnocení u metod WSA/IPA a u metody TOPSIS skončila jen s velmi malým rozdílem druhá.

## 3.4 Praktický příklad č. 2

### 3.4.1 Teoretický úvod

Druhý příklad bude zaměřen na uplatnění multikriteriální analýzy v elektroenergetice, čímž bude splněn hlavní cíl této bakalářské práce. Konkrétně bude tento příklad obsahovat problematiku nasazení dálkově řízených prvků. V tomto případě budou dálkově řízené prvky odpínače sloužící jako náhrada stávajících růžkových úsečníků. Na začátek praktického příkladu bude ve zkratce uvedeno, k čemu růžkové úsečníky slouží a z jakých důvodů by měly být nahrazovány dálkově řízenými odpínači. Tento úvod také obsahuje stručný teoretický výklad ohledně dálkově řízených úsečníků.

**Růžkové úsečníky** slouží k dočasnému přerušení dodávky elektrické energie v určitém úseku, případně k jejímu odklonění, je-li zapotřebí provést libovolné pracovní manipulace na vedení nebo dojde-li v daném úseku k poruše. Používá se především u vysokonapětových linek 22kV, napájených ze dvou stran.

Nejčastěji se úsečníky nacházejí na hranicích mezi jednotlivými okresy. Nejlepší varianta umístění úsečníku by byla přesně uprostřed vedení napájeného ze dvou stran, to však není v některých případech dost dobře možné.

Jakákoliv manuální práce ohledně úsečníků je velice složitá, časově náročná a ekonomicky nevýhodná. V praxi to vypadá tak, že musí vyškolený pracovní tým dorazit na místo úsečníku, dát signál rozvodně k odpojení či přemostění dané linky a po následné kontrole, zda je vedení skutečně vypnuto, začít práci na vedení.

#### Jaké jsou tedy největší nevýhody úsečníku?

- Časová náročnost – pracovnímu týmu může zabrat i několik hodin, než vůbec k danému úsečníku dorazí
- Nedostupnost – nachází-li se úsečník vysoko v horách, mimo obvyklé komunikace či na soukromém pozemku, značně se tím celá problémová situace komplikuje
- V případě odpojení dojde k značnému omezení dodávky elektrické energie

Díky výše uvedeným informacím začaly být v praxi uplatňovány místo úsečníků dálkově řízené odpínače.

**Dálkově řízené odpínače** slouží jako velice spolehlivá a bezpečná náhrada růžkového úsečníku. Hlavní výbavou těchto odpínačů je zhášecí komora v izolačním krytu, který je odolný vůči povětrnostním vlivům. Tato komora pracuje na olejovém zhášecím principu, umožňujícím rychlé vypínání/zapínání. Hlavní funkcí těchto odpínačů je spínání obvodů při zatížení – je možné spínat/vypínat provozní proudy až do velikosti jmenovitých vypínacích proudů. Tyto proudy mohou nabývat velikosti až několik stovek ampér. Na vypínání zkratových proudů stavěny nejsou, přesto dokážou zkratové proudy po určitou dobu převádět.

Díky odpínačům odpadá problém nedostupnosti či časové náročnosti z pohledu přesunu pracovního týmu na danou lokaci úsečníku. Jejich největší nevýhodou je ovšem cena – pořizovací náklady na jeden odpínač se pohybují v řádu stovek tisíc korun. Jelikož je úsečníků poměrně mnoho, projevila by se tato velice rozsáhlá investice na ceně dodávané elektrické energie, což není v zájmu koncového zákazníka.

Zadáním pro multikriteriální analýzu ohledně nasazení dálkově řízených odpínačů tedy bude volba primárních míst, kde by měly být úsečníky nahrazeny těmito odpínači.

### 3.4.2 Popis řešení

Řešení problematiky tohoto příkladu již nebude tak jednoduché a přímočaré, jak tomu bylo v případě příkladu prvního. Autor této práce nemá několikaleté zkušenosti v této problematice, jak tomu bylo u předchozího příkladu. Dále postrádá veškeré vstupní informace ohledně umístění současných úsečníků/odpínačů, aktuální statistiky obsahující četnosti poruch či množství nedodané energie atd., jelikož se každý rok tyto informace mění a bylo by velice pracné je sehnat v časovém horizontu vypracování této práce. Všechny tyto informace jsou sice důležité, ale pro potřeby našeho příkladu postačí hodnoty z let předešlých popř. takové imaginární hodnoty, které se budou co nejvíce blížit hodnotám reálným.

Cílem tohoto příkladu bude určení, které ze stávajících úsečníků by bylo nejvýhodnější nahradit odpojovači. Abychom tak mohli učinit, sestavíme statistickou tabulku, která bude zahrnovat veškeré hodnoty pro jednotlivá kritéria. Následně provedeme multikriteriální analýzu pomocí programu MCA8, kde na rozdíl od předchozího příkladu využijeme všechny metody, tedy i metodu AGREPREF a PROMETHEE.

Celá kapitola bude zakončena srovnáním jednotlivých metod.

### 3.4.3 Kritéria

Základních kritérií bude celkem pět. První kritérium bude obsahovat hodnoty zatížení linky v místě úsečniku. Hodnoty budou v podobě proudů, které budou uvedeny v ampérech (A). Další kritérium bude počet manipulací za daný rok. Třetí kritérium bude nedodaná energie za daný rok. Toto kritérium bude uvedeno v kilowatthodinách (kWh). Následuje čtvrté kritérium – nedostupnost. To bude mít výsledné hodnoty hodnoceny na stupnici uvedené v tabulce níže. Pátým a posledním kritériem bude dojezdová vzdálenost, uvedená v kilometrech (km).

Hodnota	Přístupnost	Umístění úsečniku
5	Velmi dobře přístupný	přímo vedle silnice
4	Dobře přístupný	nedaleko příjezdové cesty
3	Občas ztíženě přístupný	na poli vedle polní cesty
2	Špatně přístupný	uprostřed pole
1	Velmi špatně přístupný	za ploty, v lese bez příjezdové cesty

Tabulka č. 3.4.1 – Hodnoty nedostupnosti

### 3.4.4 Varianty

Varianty budou obecné s názornými hodnotami z důvodu uvedených v popisu řešení. Pro tento příklad bude zvoleno deset různých variant. V případě řešení konkrétního příkladu budou variantám odpovídat úsečníky z daného okresu i s jejich konkrétními hodnotami. Seznam variant je uvedený níže při samotném řešení této problematiky.

### 3.4.5 Váhy

K určení vah jednotlivých kritérií posloužila metoda Fullerova trojúhelníku. Konkrétní postup tohoto určení je uveden v příloze č. 2.

### 3.4.6 Metody

Pro tento příklad budou použity všechny metody, které obsahuje program MCA8. Kromě metod využitých v předchozím příkladu (WSA, IPA, CDA, TOPSIS) tedy využijeme také metody AGREPREF a PROMETHEE. Pro tyto dvě varianty musíme zvolit další pomocné hodnoty.

V případě AGREPREF se jedná o koeficienty  $\alpha$  a  $\beta$ , které již byly vysvětleny výše. Byly vyzkoušeny různé hodnoty těchto koeficientů, pro  $\alpha$  od hodnoty 0,4 nahoru byly pořadí kritérií téměř shodné. Poté byly vyzkoušeny i různé číselné hodnoty pro  $\beta$ , které opět měly vliv na celé řešení až od hodnoty 0,7 a výše. Nakonec bylo zvoleno nastavení  $\alpha = 0,4$  a  $\beta = 0,6$ .

U metody PROMETHEE, jsou to koeficienty  $p$ ,  $q$ ,  $\sigma$  a dále typ preferenční funkce. Více o těchto koeficientech a jejich konkrétních hodnotách bude uvedeno až u konkrétního řešení touto metodou níže.

### 3.4.7 Vstupní hodnoty pro multikriteriální analýzu

Tato podkapitola bude shodná s podkapitolou uvedenou v předchozím příkladě. První vstupní hodnotou jsou kritéria, jejich název, typ a váha. Zde je uveden seznam kritérií i s jejich konkrétními vlastnostmi:

	Název	Typ	Váha
<b>Kritérium č. 1</b>	Zatížení linky	Maximalizační	0,1
<b>Kritérium č. 2</b>	Počet manipulací	Maximalizační	0,1
<b>Kritérium č. 3</b>	Nedodaná energie	Maximalizační	0,4
<b>Kritérium č. 4</b>	Nedostupnost	Minimalizační	0,2
<b>Kritérium č. 5</b>	Dojezdová vzdálenost	Maximalizační	0,2

Tabulka č. 3.4.2 – Vlastnosti kritérií

V dalším kroku vytvoříme jednotlivé varianty a zadáme vstupní hodnoty k jednotlivým kritériím. Varianty budou pojmenovány obecně dle čísel úsečníků. Všechna kritéria budou maximalizační, kromě nedostupnosti, která je jako jediná hodnocena pomocí stupnice uvedené výše, kde úsečník s největší číselnou hodnotou kritéria je nejdostupnější a naopak. Seznam variant je uveden na další straně i s konkrétními hodnotami pro jednotlivá kritéria.

Po zadání kritérií i variant zvolíme v nabídce Řešení možnost Aktualizovat řešení, čímž spustíme samotnou multikriteriální analýzu a zpřístupníme záložky výsledky a grafy.

	Zatížení linky	Počet manipulací	Nedodaná energie	Nedostupnost	Dojezdová vzdálenost
Úsečník 1	10,8	8	9480	3	14
Úsečník 2	14,4	6	6870	3	26
Úsečník 3	12,1	8	6420	2	17
Úsečník 4	46,5	15	22081	2	44
Úsečník 5	11	4	5300	2	41
Úsečník 6	17,2	8	9320	2	10
Úsečník 7	11,4	8	11404	4	14
Úsečník 8	15,2	11	13005	3	21
Úsečník 9	27	5	6600	2	5
Úsečník 10	12,2	11	15400	2	21

Tabulka č. 3.4.3 – Hodnoty k jednotlivým kritériím pro každou variantu

### 3.4.8 Výsledky

Nyní se můžeme podívat na konkrétní výsledky pro jednotlivé metody. Obecný popis těchto metod byl uveden v předchozím příkladu, u dvou metod dosud nepoužitých je popis přidán.

#### 1) Metoda WSA

Varianta	Ohodnocení
Úsečník 4	1
Úsečník 10	0,59
Úsečník 8	0,442
Úsečník 5	0,385
Úsečník 6	0,376
Úsečník 3	0,328
Úsečník 9	0,285
Úsečník 1	0,282
Úsečník 2	0,273
Úsečník 7	0,23

První použitá metoda WSA, založena na principu maximalizace, určila jako první nejvhodnější úsečník k výměně úsečník čtvrtý. Tento úsečník měl největší počet manipulací, největší dojezdovou vzdálenost a také měl největší množství nedodané energie. Výsledek je tedy naprosto přesný. Následuje úsečník desátý, osmý a pátý.



## 2) Metoda IPA

Varianta	Ohodnocení
Úsečník 4	0
Úsečník 10	0,41
Úsečník 8	0,558
Úsečník 5	0,615
Úsečník 6	0,624
Úsečník 3	0,672
Úsečník 9	0,715
Úsečník 2	0,718
Úsečník 1	0,727
Úsečník 7	0,77

Výsledky této metody jsou shodné s výsledky metody WSA, tentokrát získal čtvrtý úsečník nulové ohodnocení, jelikož metoda IPA hodnotí jednotlivé varianty tak, že nejvhodnější varianta má nejnižší bodové ohodnocení. Pořadí ostatních úsečníků je také shodné.

## 3) Metoda CDA

Varianta	Ohodnocení
Úsečník 4	0
Úsečník 10	2,478
Úsečník 8	4,861
Úsečník 6	6,379
Úsečník 1	7,878
Úsečník 3	8,14
Úsečník 2	8,306
Úsečník 5	8,71
Úsečník 9	8,833
Úsečník 7	9,086

V předchozím příkladu tato metoda určila jako zlatý střed úplně jinou variantu, než u metod WSA/IPA. Očekával jsem ten samý případ i v tomto příkladu, ale metoda opět určila jako první tři úsečníky k výměně úsečník čtvrtý, desátý a osmý.

#### 4) Metoda TOPSIS

Varianta	Ohodnocení
Úsečník 4	1
Úsečník 10	0,568
Úsečník 8	0,443
Úsečník 5	0,384
Úsečník 6	0,346
Úsečník 3	0,306
Úsečník 7	0,297
Úsečník 9	0,29
Úsečník 1	0,275
Úsečník 7	0,272

Metoda TOPSIS je velice vyrovnaná a přesná, jelikož hledá variantu co nejblíže variantě nejlepší. V našem případě je „nejlepší“ úsečník ten s největší ztrátou výkonu, největší vzdáleností atd. Výsledek opět podpořil výsledky předchozích metod.

#### 5) Metoda AGREPREF

Metoda použitá na praktický příklad poprvé. Její hlavní princip spočívá v seskupení kritérií do množin, vypočte stupně preferencí pro jednotlivé množiny a pak podle citlivostních prahů vyhodnotí výsledky. Citlivostní prahy zohledňují diferenci mezi váhami.

Varianta	Ohodnocení
Úsečník 4	9
Úsečník 8	5
Úsečník 10	2
Úsečník 2	2
Úsečník 7	1
Úsečník 1	-2
Úsečník 5	-4
Úsečník 3	-4
Úsečník 6	-4
Úsečník 9	-5

Poprvé se na druhém místě umístil osmý úsečník místo desátého, který byl přesunut až na místo třetí. Nyní se hodnoty vyhodnocení pohybují na stupnici, která seřazuje varianty od nejlepší po nejhorší i pomocí záporných hodnot, uprostřed stupnice se nachází nula.

## 6) Metoda PROMETHEE

Druhá metoda použita na praktický příklad poprvé. Tato metoda je velice pečlivá a požaduje podrobné zadání. Porovnává všechny varianty po párech mezi sebou a podle všech kritérií, je tedy velice přesná. V případě této varianty jsme museli zaměnit stupnicové hodnocení kritéria nedostupnosti z minimalizačního na maximalizační, jelikož tato metoda vyžaduje zadání všech kritérií jako maximalizačních. Stupnice nedostupnosti se tedy změnila následovně:

Hodnota	Přístupnost	Umístění úsečníku
1	Velmi dobře přístupný	přímo vedle silnice
2	Dobře přístupný	nedaleko příjezdové cesty
3	Občas ztíženě přístupný	na poli vedle polní cesty
4	Špatně přístupný	uprostřed pole
5	Velmi špatně přístupný	za ploty, v lese bez příjezdové cesty

Tabulka č. 3.4.4 – Stupnice nedostupnosti pro metodu PROMETHEE

Výsledné hodnoty tohoto kritéria budou tedy vypadat takto:

	Nedostupnost
Úsečník 1	3
Úsečník 2	3
Úsečník 3	4
Úsečník 4	4
Úsečník 5	4
Úsečník 6	4
Úsečník 7	2
Úsečník 8	3
Úsečník 9	4
Úsečník 10	4

Tabulka č. 3.4.5 – Hodnoty kritéria nedostupnosti pro každou variantu

*Poznámka autora.: Záměrně jsem tuto úpravu neprovedl pro veškeré metody, jelikož jsem pro metodu PROMETHEE vytvořil novou šablonu programu MCA8, určenou pouze pro vyhodnocení metodou PROMETHEE.*

Dalším krokem bylo zadání koeficientů  $p$ ,  $q$ ,  $\sigma$ , jejichž význam je popsán v kapitole věnované této metodě. Pro všechna kritéria byly zvoleny tyto koeficienty:

$$p = 0,2$$

$$q = 0,4$$

$$\sigma = 0$$

Typ byl zvolen čtvrtý, kdy se uplatní koeficienty  $p$  a  $q$ , koeficient  $\sigma$  se využívá pouze u typu šestého.

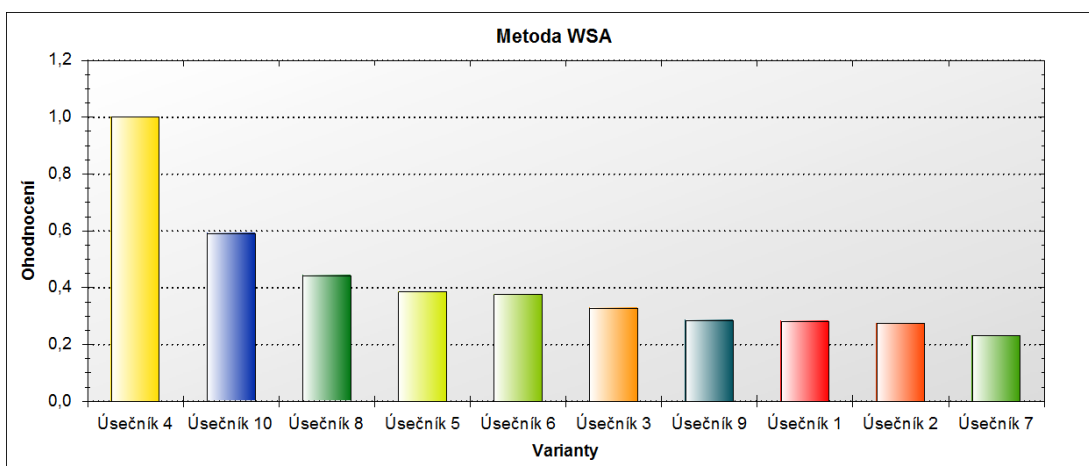
Nyní k samotným výsledkům této metody:

Varianta	Ohodnocení
Úsečník 4	0,778
Úsečník 10	0,322
Úsečník 6	0,122
Úsečník 3	0,033
Úsečník 8	0,011
Úsečník 9	0
Úsečník 5	-0,044
Úsečník 2	-0,178
Úsečník 1	-0,478
Úsečník 7	-0,567

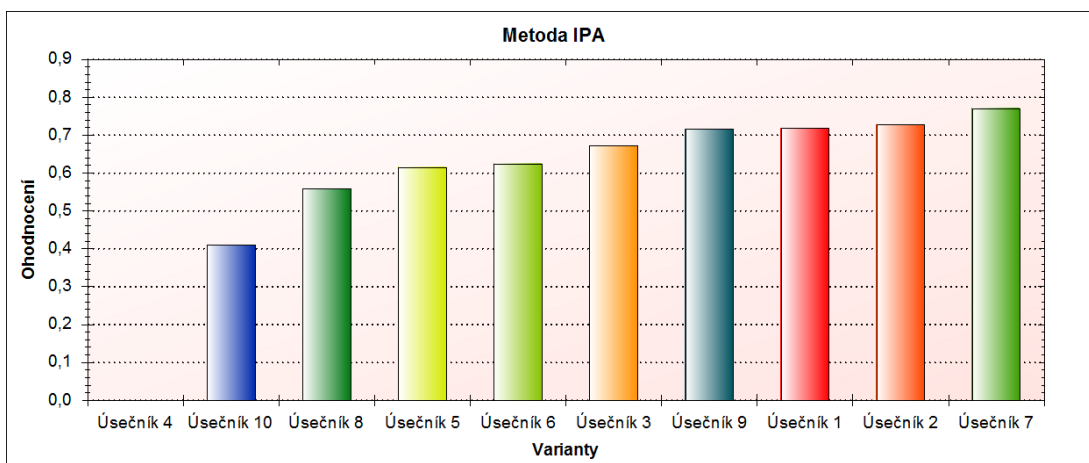
Tato metoda potvrdila to, co nám určily metody WSA, IPA, CDA i TOPSIS. Na prvních dvou místech se opět umístily úsečníky čtvrtý a desátý. Třetí místo tentokrát obsadil úsečník šestý. S touto metodou se nám otevírá mnoho možností nastavení díky třem volitelným koeficientům a šesti typům vyhodnocení. Byl zvolen čtvrtý typ a výsledek je uspokojivý.

### 3.4.9 Grafy

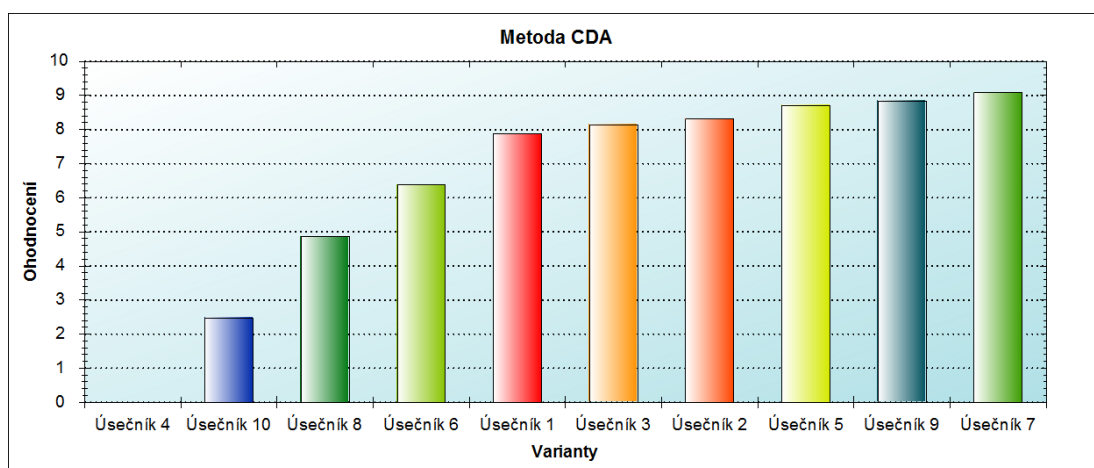
#### 1) Metoda WSA



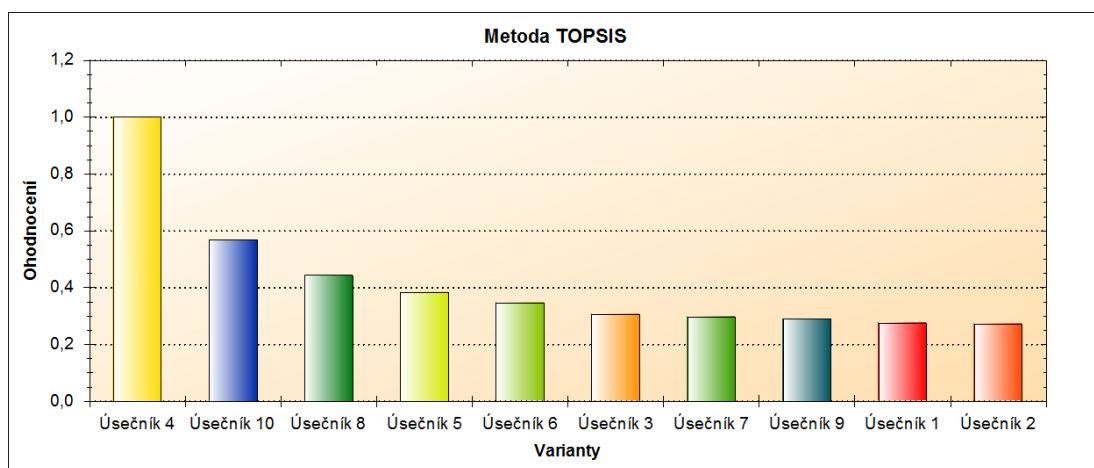
#### 2) Metoda IPA



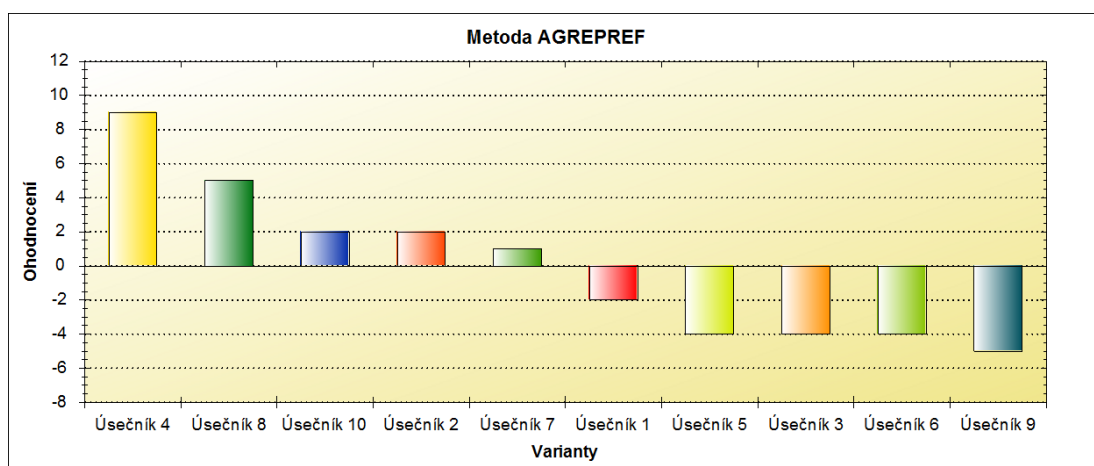
### 3) Metoda CDA



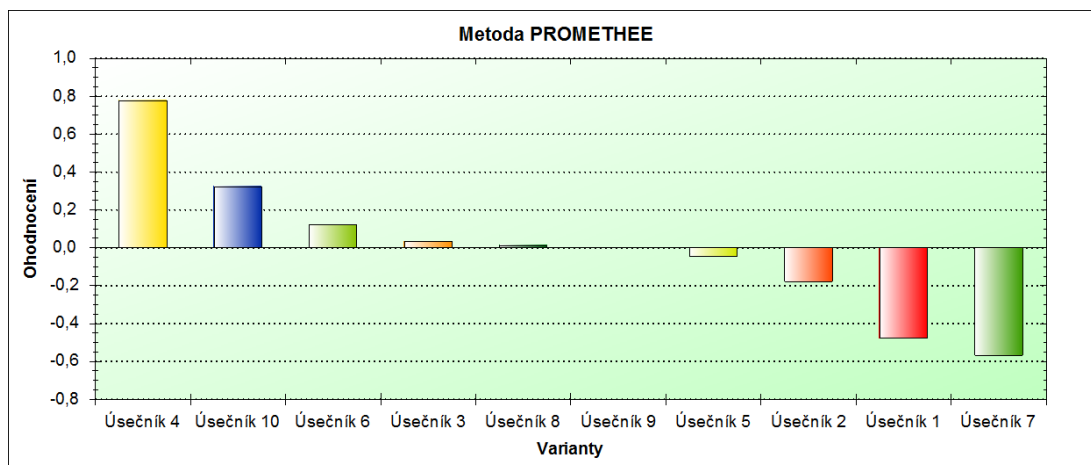
### 4) Metoda TOPSIS



### 5) Metoda AGREPREF



## 6) Metoda PROMETHEE



### 3.4.10 Srovnání jednotlivých metod

Varianty WSA i IPA opět ukazovaly naprosto shodný výsledek, jediný rozdíl byl v řazení hodnocení. Nejvhodnějšími variantami byly úsečníky čtvrtý, desátý a osmý. Metoda CDA také ukázala shodné výsledky s předchozími metodami, ale pouze pro první tři pozice. Další pozice se lišily. Jelikož se snaží tato metoda najít kompromis mezi nejlepší a nejhorší metodou, dalo se očekávat, že se bude výsledek lišit. Metoda TOPSIS opět potvrdila první tři pozice, tedy už nyní dokážeme téměř s jistotou říct, které tři úsečníky jsou nejvhodnější k výměně za dálkově řízené odpínače.

Poprvé jsme využili také metody AGREPREF, pro kterou bylo vyzkoušeno několik různých nastavení pro koeficienty  $\alpha$  a  $\beta$ . Výsledky se lišily pouze v extrémních případech nastavení těchto koeficientů. Při zvoleném nastavení  $\alpha=0,4$  a  $\beta=0,6$  byl jediný rozdíl ve výsledku oproti ostatním metodám ten, že bylo vyměněno pořadí osmého a desátého úsečníku.

Poslední použitá metoda PROMETHEE byla použita v samostatné a nové šabloně programu MCA8, jelikož jsme museli změnit typ kritéria, což bylo popsáno u výsledků této metody. Jedná se o metodu nejpřesnější, jelikož porovnává všechny varianty mezi sebou a to dokonce pro jednotlivá kritéria. Má velmi mnoho možností nastavení, byl zvolen typ čtvrtý a hodnoty koeficientů uvedené u výsledků. Tato metoda jako jediná určila na třetím místě úsečník šestý, jinak byla první dvě místa shodná.

Závěrem k tomuto příkladu můžeme říci, že nejvhodnějšími úsečníky k výměně jsou úsečník čtvrtý, desátý a osmý. Pokud bychom chtěli určit, které úsečníky jsou další v pořadí, doporučil bych úplné odstranění těchto tří vítězných variant a opětovné vyhodnocení pomocí programu MCA8.

## 4 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce byla tematika multikriteriální analýzy v elektroenergetice. Jedná se o téma velmi obsáhlé a podrobné. Celá tato bakalářská práce by se dala rozdělit do tří hlavních celků.

Úvodem byla popsána multikriteriální analýza jako taková. Následoval výčet základních pojmů, bez kterých bychom se neobešli a které nás provázely celou bakalářskou prací.

První celek byl věnován určování vah kritérií. Jedná se o velice důležitou položku, která stojí na počátku celé multikriteriální analýzy. Váhy můžeme určit dle informace o kritériích a tyto informace lze rozdělit na ordinální a kardinální, popř. můžeme být naprosto bez informací o důležitosti kritérií.

Druhý celek byl věnován jednotlivým metodám multikriteriální analýzy. Bylo uvedeno šest základních metod. Pomocí určených vah jsme s těmito metodami pracovali, snažili se pochopit jejich základní principy a následně je uplatnit v praxi. Z důvodu obsáhlosti všech metod byl autor donucen výklad zkrátit, aniž by byly opomenuty nejdůležitější informace.

Následoval celek třetí a poslední, který se věnoval primárně programu MCA8. Tento program byl využit na dva praktické příklady. První příklad, zvolený dle vlastního výběru, blízký svým tématem autorovi této práce, byl založen na výběru vhodné elektrické kytary. Především tento příklad sloužil jako ukázka všech možností a funkcí programu MCA8. Druhý příklad již byl uplatněn na příklad z elektroenergetiky. Jednalo se o výběr úsečníků, které by měly být nahrazeny dálkově řízenými odpojovači.

Hlavním výstupem této bakalářské práce je prezentace věnující se multikriteriální analýze, která bude sloužit jako výukový materiál pro studenty.

Závěrem tedy můžeme říci, že hlavní úkol této bakalářské práce byl splněn.

## 5 Seznam použité literatury

- [1] Petr Fiala.: *Modely a metody rozhodování*, Praha 2008, skriptum VŠE
- [2] Ing. Petr Korviny.: *Aplikace multikriteriální analýzy při nasazování dálkově řízených prvků v distribučních sítích vysokého napětí*, Ostrava 2003, doktorská dizertační práce
- [3] Bc. Hana Doubravová.: *Vícekritériální analýza variant a její aplikace v praxi*, České Budějovice 2009, diplomová práce
- [4] Uživatelská příručka MCA8, Ostrava 2007



## **6 Seznam příloh**

**Příloha č. 1: Typy preferenčních funkcí**

**Příloha č. 2: Určení vah pomocí Fullerova trojúhelníku**